

PAT-NO: JP409258151A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09258151 A

TITLE: POLLING METHOD FOR OPTICAL WAVEGUIDE

PUBN-DATE: October 3, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ABE, ATSUSHI

KITAGAWA, TAKESHI

HATTORI, KUNINORI

OGUMA, MANABU

HIMENO, AKIRA

TAKAHASHI, HIROSHI

INT-CL (IPC): G02F001/035, G02B006/12

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polling method for optical waveguide capable of producing a waveguide type optical device of a quartz system having excellent workability and integrating characteristic with a low loss and having high responsiveness.

SOLUTION: An optical waveguide consisting of core and clad is formed on a substrate. A mode-synchronized Q switch action Nd<sup>3+</sup>; YAG laser 21 and the light of a wavelength of about 532nm generated from a KTP crystal 22 is made incident from one end P1 of the optical waveguides on an optical switch 10 constituted by forming these optical waveguides by providing the surface of the optical waveguides with electrodes. The beam and the light are propagated in the optical waveguides and voltage of 5kV is impressed from a voltage source 26, by which polling is executed and the electro-optic effect having a large electro-optic constant is induced.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-258151

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/035			G 0 2 F 1/035	
G 0 2 B 6/12			G 0 2 B 6/12	J

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-62961

(22) 出願日 平成8年(1996)3月19日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿3丁目19番2号

(72) 発明者 阿部 淳

東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 北川 毅

東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 服部 邦典

東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 吉田 精孝

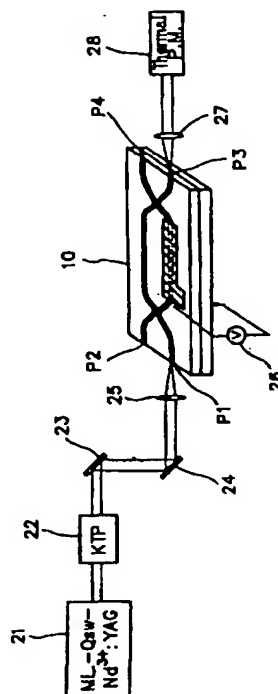
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路のポーリング方法

(57) 【要約】

【課題】 低損失で加工性及び集積性に優れ且つ高速応答性を有する石英系の導波型光デバイスを製造し得る光導波路のポーリング方法を提供すること。

【解決手段】 基板上にコア及びクラッドからなる光導波路を作製し、該光導波路上に電極を設けてなる光スイッチ10に対し、モード同期Qスイッチ動作Nd<sup>3+</sup>:YAGレーザ21及びKTP結晶22より発生させた波長約532nmの光を光導波路の一端P1から入射し伝播させるとともに、電圧源26より5kVの電圧を印加することによりポーリングを行い、電気光学定数の大きな電気光学効果を誘起する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に石英系ガラスよりなるコアを石英系ガラスよりなり且つコアより屈折率が低いクラッドで囲んで作製した光導波路のポーリング方法において、光導波路に紫外光または可視光を伝播させながら外部電場を印加することを特徴とする光導波路のポーリング方法。

【請求項2】 光導波路上に設けた電極に電圧を加えることにより外部電場を印加するようになったことを特徴とする請求項1記載の光導波路のポーリング方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板上に光導波路を配置した集積光デバイス、詳しくは、光通信分野等で用いられる光スイッチ等の導波型光デバイスの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】平面基板上に作製された、石英系ガラスを主成分とする単一モード石英系光導波路としては、例えば「M. Kawachi "Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optic component" J. Quantum Electron., vol. 22, 1990, pp. 391~416 (文献1)」等に記載されたものがある。

【0003】このような埋め込み型石英系光導波路は、石英系ガラスの優れた被加工性により、設計値通りの導波路を作製することができ、量産性にも優れている。また、石英系光導波路は損失が低く、しかも一般に使用されている石英系単一モード光ファイバとの接続整合性も優れているため、実用的な集積光デバイスの実現手段として期待され、現在までに波長合分波器や光スイッチ等の数多くの光デバイスの開発が行われてきている。

【0004】石英系光導波路を用いて実現された光スイッチとしては、例えば「N. Takato, et al. "Silica-Based Single-Mode Waveguides on Silicon and their Application to Guided-Wave Optical Interferometers" J. Light Technol., VOL. 6, 1988, pp. 1003~1010 (文献2)」等に記載されているような熱光学効果を利用した「熱光学スイッチ(TOスイッチ)」がある。

【0005】石英系光導波路によるTOスイッチでは、低損失で集積性に優れた良好なスイッチを実現できるが、その応答速度はおよそ1ms程度であり、より高速応答可能な石英系光スイッチが求められている。一方、最近、ポーリング処理を施した石英系ファイバにおいて、電圧印加により生じる屈折率変化(電気光学効

果)が報告されている。

【0006】通常、石英系ガラスはランダム系であり、擬似的に中心対称性を有すると考えられ、1次の電気光学効果(ポッケルス効果:印加電場強度に比例した屈折率変化)は原理的にみることができない。

【0007】しかしながら、このようなガラス系に対し、「電場を印加した状態で温度を上げ、電場を印加したまま温度を下げる」という「熱ポーリング」処理を行うことにより、ポッケルス効果を誘起することができる。このポーリング処理によるポッケルス効果の誘起は石英系ガラスを主成分とする光ファイバにおいてもみられ、最近、ポーリング処理を行った石英系ファイバにおいて、電圧印加により生じる屈折率変化(電気光学効果)が報告されている(例えば「P. G. Kazansky, et al. "Pockels effect in thermally poled silica optical fibers" Electronics Lett., vol. 31, 1995, pp. 62~63 (文献3)」参照)。

【0008】このポーリング処理によって誘起された石英系ガラス中のポッケルス効果による応答速度は非常に高速であり、10ns以下の応答速度を有している。即ち、このポッケルス効果を石英系ガラス導波路中に誘起することにより、導波路の屈折率を電圧印加によって、10ns以下(100MHz以上)の高速で制御できることを示している。

【0009】この電気光学効果を利用して、高消光比を有する高速な光スイッチや光強度変調器を実現するには、マッハ・ツェンダ干渉計(MZI)等の干渉計を構成することが有用であるが、石英系ファイバやバルク光部品等で構成するマッハ・ツェンダ干渉計は温度変動等の外部擾乱に弱く、不安定であり、実用的な光デバイスにならないという問題を有している。

【0010】これに対し、先に述べた文献1に記載されている、Si基板上に石英系導波路で構成されたMZIは光ファイバやバルク光部品で構成されたMZIに比べて外部擾乱に強く、透過光強度等の光学特性が安定している。さらに、この石英系導波路の干渉計は石英系ガラスの加工が容易なため、高精度な加工を行うことができ、設計値通りの作製が可能であるという利点を有している。

【0011】この石英系導波路で構成したマッハ・ツェンダ干渉計のアーム導波路の部分に熱ポーリング処理を行い、電気光学効果の誘起を行えば、石英系導波路による電気光学効果を利用した、高速応答性を有する実用的な光スイッチや光強度変調器を実現することができる。

【0012】しかしながら、先に述べた文献3に示されているように「熱ポーリング」によって誘起されるポッケルス効果の効率は、電気光学定数 $r$ の値で約0.05 pm/Vであり、あまり大きな値ではなかった。

10

20

30

40

50

【0013】このポッケルス効果の効率を改善する手段として、Ge添加石英系光ファイバに対し、電場を印加しながら紫外レーザ光（波長193nm）を外部より照射すること、即ち「光ポーリング」（「光誘起ポーリング；optically induced poling」あるいは「光補助ポーリング；optically assisted poling」という。）を行うことにより、電気光学定数 $r=6\text{pm/V}$ という、大きな電気光学効果が誘起されたことが報告されている（例えば「T. Fujiwara, D. Wong, Y. Zhao, S. Fleming, S. Poole and M. Sceats, Electron. Lett., 31, 1995, 573（文献4）」参照）。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述したポーリング方法を平面基板上に作製された導波路に対して適用しようとする場合、外部から照射される光が、しばしば導波路近傍に作製された電極に損傷を与えるという問題があった。また、光を外部からコア部分に照射するため、基板に対して垂直な方向に電場を印加する、コアの垂直方向の上部に電極を配置することはできないという電極作製上の問題があった。

【0015】本発明の目的は、低損失で加工性及び集積性に優れ且つ高速度応答性を有する石英系の導波型光デバイスを製造し得る光導波路のポーリング方法を提供することにある。

$$\Delta n_{TE} = (1/2) r_1 n_{TE}^3 E_{ex}$$

$$\Delta n_{TM} = (1/2) r_2 n_{TM}^3 E_{ex}$$

と表すことができる（例えば、「西原 他「光集積回路」（オーム社）」参照）。ここで、 $r_1$ 、 $r_2$ はTM方向に外部電場を印加した場合に対応したTE、TM方向の電気光学定数、 $n_{TE}$ 、 $n_{TM}$ はそれぞれTE、TM方向の屈折率を示す。

【0020】従って、外部電場強度が強ければ強いほど大きな屈折率変化を得ることができる。

【0021】この電場印加は、ポーリング時に用いた電極にそのまま電圧を印加することにより可能である。アーム導波路の部分でこの電場印加により生じる屈折率変化（電気光学効果）を利用し、MZIを光スイッチや光強度変調器として動作させることが可能である。この時、MZIは基板上に作製されているため、光ファイバやバルク光部品で構成されたMZIに比べて、温度変動等の外部擾乱に対して安定な動作を示す実用的な光部品となる。

【0022】

【発明の実施の形態】図1は本発明方法で製造する導波路型光デバイスの一例、ここではマッハ・ツェンダ干渉計を有する光スイッチを示すもので、同図(a)は全体斜視図、同図(b)は要部断面図である。図中、11はSi基板、12、13は導波路（GeO<sub>2</sub>添加石英系ガラス ※50

\*【0016】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明では、基板上に石英系ガラスよりなるコアを石英系ガラスよりなり且つコアより屈折率が低いクラッドで囲んで作製した光導波路のポーリング方法において、光導波路に紫外光または可視光を伝播させながら外部電場を印加する光導波路のポーリング方法を提案する。

【0017】光導波路に紫外光または可視光を「伝播照射」しながら電場を印加する「伝播照射光ポーリング」は、コア部分に閉じ込められた高強度な光によって、10数cm以上に及ぶ光導波路に対し、一度に光照射することができる。また、「外部照射」を行う時には、しばしばコア近傍に設けられた電圧印加用の電極やクラッド部分に損傷を与えることがあったが、「伝播照射」によれば、電極に損傷を与えることなく光照射することができる。また、コア部分を伝播させて光を照射するため、基板に対して垂直な方向（TM方向）に電場を印加する、コアの垂直方向の上部に電極を配置することも可能であり、電極作製上の制約が少ない。

【0018】この「光ポーリング処理」を施したMZIのアーム導波路の部分に電気光学効果が誘起され、電場印加に対し屈折率変化を生じる。

【0019】例えば、TM方向に外部電場 $E_{ex}$ を印加した時に生じる屈折率変化の大きさ $\Delta n$ は、

$$\dots\dots (1)$$

※コア）、14はアンダークラッド、15はオーバークラッド、16は薄膜電極、17、18は導波路12、13を近接させて構成した方向性結合器である。

【0023】ここで、光導波路の作製は、例えば前述した文献2に示された方法と同様に行った。即ち、Si基板11上にアンダークラッド14及びコア12、13となる石英系ガラスを主成分とするガラス膜層を火炎堆積（FHD）法により形成し、その後、反応性イオンエッチング（RIE）によりコア部分のリッジ構造を形成し、再びFHD法により石英系ガラスを主成分とするオーバークラッド15による埋め込みを行い、光導波路の作製を行った。ここで、コアはGe添加石英系ガラスで形成し、コアとクラッドとの比屈折率差 $\Delta$ を0.7%とし、コアの構造は矩形で $7\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ とした。

【0024】前述した2つの方向性結合器17、18と、導波路12、13のうちの方向性結合器17、18間を結ぶアーム導波路とにより、マッハ・ツェンダ干渉計が構成される。

【0025】導波路作製後、一方のアーム導波路のコア近傍にクロムCr及び金Auを蒸着し、所望の形状にパターン化加工して電極16を形成した。ここで、コアに平行な電極部分の長さ $L=6.5\text{cm}$ 、電極間隔 $d=4$

5  $\mu\text{m}$ とした。電極形成に用いる材料は、Pt, NiCr, Ta<sub>2</sub>N, Al等、導電性の高いものであれば、どのようなものでも良い。

【0026】前述した如くして作製した光スイッチ、例えば10に対し、図2に示すように、モード同期(M L) Qスイッチ(Q<sub>sw</sub>)動作Nd<sup>3+</sup>:YAGレーザ(M L-Q<sub>sw</sub>-Nd<sup>3+</sup>:YAGレーザ)21からの波長1064nmの光の第二高調波(SH)光(波長532nm)をKTP結晶22により発生させ、このSH光を波長1064nmの光は通過させ、波長532nmの光は反射するダイクロイックミラー23、波長532nmの反射率が100%のミラー24及びレンズ25を介してポートP1に導き、導波路12を伝播させながら、電圧源26より5kVの電圧印加を30分間行った。

【0027】ポートP1から導入された光は方向性結合器17, 18が図3に示す波長特性を有するため、導波路13に結合せず、全て導波路12を伝播した。30分\*

$$\Delta\phi = 2\pi n (1/\lambda) (n_e^3/2) r (\Delta V/d) L \dots\dots (2)$$

で表すことができる。ここで、 $n$ は結合係数、 $n_e$ はコアの屈折率、 $d$ は電極間隔、 $L$ は相互作用長(外部電場がコア部分にかかっている長さ)、 $\Delta V$ は印加電圧、 $\lambda$ は測定波長、 $r$ は電気光学定数である。

【0031】本例においては、 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 、 $n_e = 1.454$ 、 $d = 45 \mu\text{m}$ 、 $L = 6.5 \text{ cm}$ とした。位相が $\pi$ 変化する電圧 $V_\pi = 180 \text{ (V)}$ であり、この時の電気光学定数 $r = 1.6 \text{ pm/V}$ と評価される。この電気光学スイッチの消光比は35dB、損失は1dBであった。

【0032】以上述べたように、低損失且つ高消光比で、高速応答性を有する光スイッチを実現するための方法として、本発明は非常に優れている。

【0033】図5は本発明方法で製造する導波路型光デバイスの他の例、ここではマッハ・ツェンダ干渉計を有する光強度変調器を示すものである。図中、31はSi基板、32, 33は導波路(GeO<sub>2</sub>添加石英系ガラスコア)、34, 35は薄膜電極、36は薄膜ヒータ、37, 38は導波路32, 33を近接させて構成した方向性結合器である。

【0034】ここで、光導波路の作製は、例えば前述した文献2に示された方法と同様に行った。即ち、Si基板31上に、アンダークラッド(図示せず)及びコア32, 33となる石英系ガラスを主成分とするガラス膜層を火炎堆積(FHD)法により形成し、その後、反応性イオンエッチング(RIE)によりコア部分のリッジ構造を形成し、再びFHD法により石英系ガラスを主成分とするオーバークラッド(図示せず)による埋め込みを行い、光導波路の作製を行った。コアはGe添加石英系ガラスで形成し、コアとクラッドとの比屈折率差 $\Delta$ を0.3%とし、コアの構造は矩形で $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ とした。

\*後にSH光を遮断し、電圧を0Vに下げた。モード同期を行ったレーザ光のパルス時間幅は約100ps、モード同期周波数は82MHz、Q<sub>sw</sub>の繰返し周波数は800Hzであった。

【0028】このポーリング処理後、波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ の半導体レーザの光を偏波保持ファイバを用いて、TM偏波でポートP1から入射した。ポートP3, P4からの出力光強度をレンズ27を介して感熱式パワーメータ(Thermal P. M.)28で検知しながら、電極16とSi基板11との間に電圧を印加し、その出力光強度の変化を測定した(なお、感熱式パワーメータの代わりにフォトダイオードを用いても良い)。

【0029】図4にこの時の印加電圧に対する規格化した出力光強度の変化を示す。印加電圧Vにはほぼ比例して位相が変化していることが示されている。即ち、印加した電場強度に比例した屈折率変化 $\Delta n$ を示している。

【0030】位相変化量 $\Delta\phi$ は、

※【0035】前述した2つの方向性結合器37, 38と、導波路32, 33のうちの方向性結合器37, 38間を結ぶアーム導波路とにより、マッハ・ツェンダ干渉計が構成される。

【0036】導波路作製後、一方のアーム導波路のコア近傍にクロムCr及び金Auを蒸着し、所望の形状にパターン化加工して電極34, 35を形成した。ここで、コアに平行な電極部分の長さ $L = 8 \text{ cm}$ 、電極間隔 $d = 40 \mu\text{m}$ とした。電極形成に用いる材料は、Pt, NiCr, Ta<sub>2</sub>N, Al等、導電性の高いものであれば、どのようなものでも良い。

【0037】さらに、電極34, 35を形成したアーム導波路とは反対側のアーム導波路にクロム薄膜ヒータ36をパターン化し、熱光学効果を利用したMZIの位相を調整することを可能とした。

【0038】前述した如くして作製した光強度変調器に対し、前記同様なQスイッチ動作Nd<sup>3+</sup>:YAGレーザからの光の第二高調波(SH)光をKTP結晶により発生させ、このSH光をポートP1に導き、導波路32を伝播させながら、5kVの電圧印加を30分間行った。30分後に第二高調波光を遮断し、電圧を0Vに下げた。Q<sub>sw</sub>の繰返し周波数は1kHzであった。

【0039】このポーリング処理後、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の半導体レーザの光を偏波保持ファイバを用いて、TE偏波でポートP1から入射した。ポートP3からの出力光強度を感熱式パワーメータで検知しながら、電極34, 35間に1GHzの変調電圧を印加し、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の半導体レーザの光の強度変調を行った。変調強度が最も大きくなるように薄膜ヒータ36でアーム導波路の一部分を加熱し、熱光学効果を利用したMZIの位相調整を行った。

※50 【0040】図7にこの時の変調光強度特性を示す。波

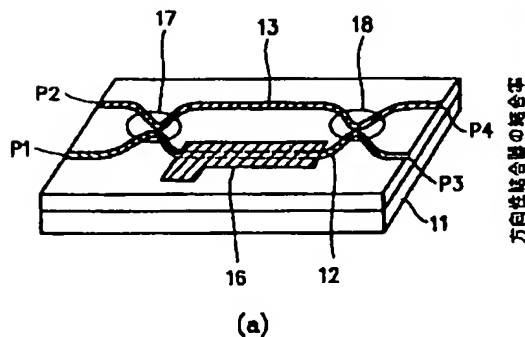
長 $1.55\mu\text{m}$ の半導体レーザの光が $1\text{GHz}$ に変調されていることが示されている。本光強度変調器の損失は $1\text{dB}$ 、消光比は $30\text{dB}$ であった。

【0041】以上述べたように、低損失且つ高消光比で、高速応答性を有する光強度変調器を実現するための方法として、本発明は非常に優れている。なお、ポーリング効率向上のため、本発明と熱ポーリングを併用することも有用である。

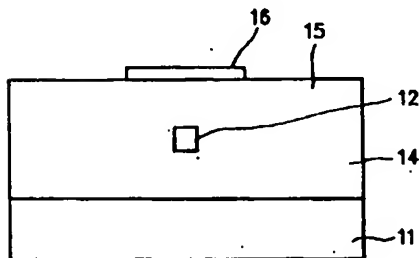
【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、光導波路に紫外光または可視光を伝播させながら外部電場を印加するというポーリング方法であるので、外部電場を加えるための電極を光導波路の直上に設けることが可能である等、電極構造に関する設計自由度が大きいという利点があり、また、従来の「熱ポーリング」によるポーリング処理を行った場合に比べて、大きな電気光学効果を誘起し得るという利点がある。従って、本発明では、光通信分野等において実用的な、高速応答性を有する光スイッチや光変調器の実現を可能とする。

【図1】



(a)



(b)

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明方法で製造する導波路型光デバイスの一例を示す構成図

【図2】本発明方法を実施する装置の構成図

【図3】図1中の方向性結合器の結合率の波長特性図

【図4】図1に示した光スイッチのスイッチング特性図

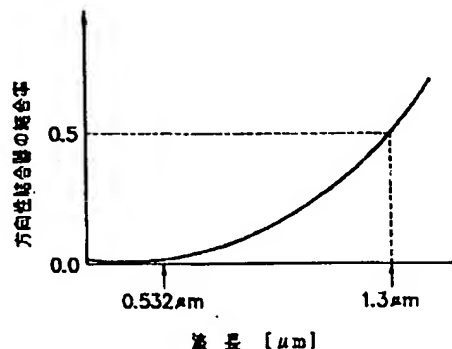
【図5】本発明方法で製造する導波路型光デバイスの他の例を示す構成図

【図6】図6に示した光強度変調器の変調光強度特性図

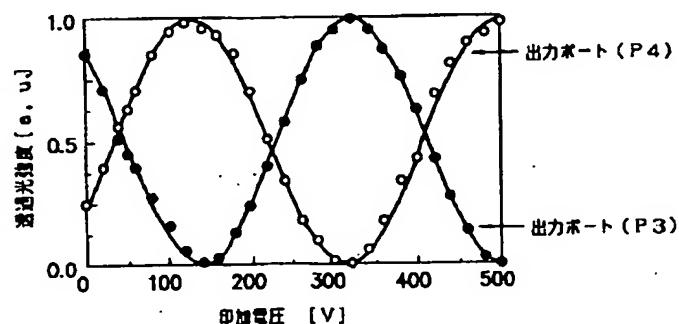
【符号の説明】

10…光スイッチ、11, 31…Si基板、12, 13, 32, 33…導波路、14…アンダークラッド、15…オーバークラッド、16, 34, 35…薄膜電極、17, 18, 37, 38…方向性結合器、21…モード同期Qスイッチ動作 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ レーザ、22…KT P結晶、23, 24…ミラー、25, 27…レンズ、26…電圧源、28…感熱式パワーメータ、36…薄膜ヒータ。

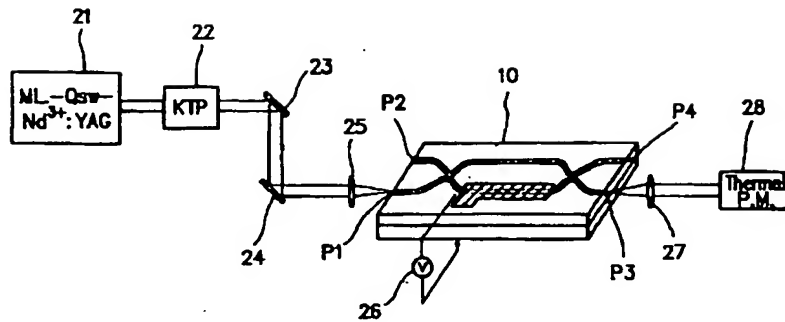
【図3】



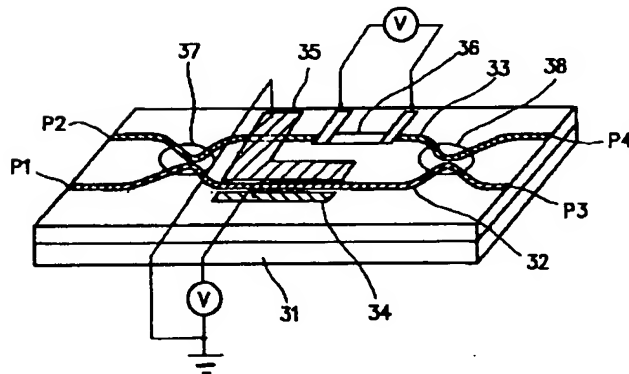
【図4】



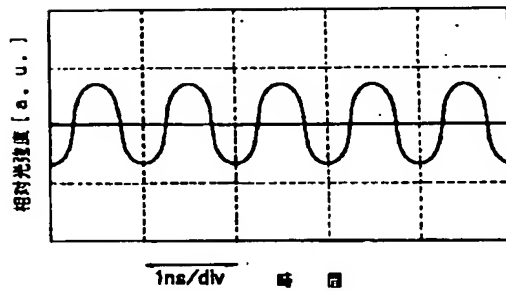
【図2】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 小原 学  
東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 姫野 明  
東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 高橋 浩  
東京都新宿区西新宿3丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内